

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

PRÉ-PROCESSAMENTO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E SEUS EFEITOS NA DERIVAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM

Antônio Henrique Araújo Costa¹ ; Adriano Rolim da Paz²

RESUMO – A crescente utilização dos recursos hídricos tem provocado estudos a cerca da representação, cada vez mais qualificada, do comportamento hidrológico dos rios. O avanço nessa representação tem como influencia o desenvolvimento computacional e a disponibilidade de ferramentas de geoprocessamento. Este estudo analisa e compara redes de drenagem extraídas de dois Modelos Digitais de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica do rio Cuiá. Um dos MDEs passou por um pré-processamento, *stream burning*, e ambos foram comparados com uma rede de drenagem referencia, já previamente elaborada. A rede de drenagem extraída do MDE com o *stream burning* mostrou-se mais real, devido a sua semelhança com a rede referencia, e a discrepância com a rede extraída do outro MDE, mostrou-se pertinente, principalmente, no aspecto visual.

ABSTRACT– The increasing use of water resources has improved studies about the representation, increasingly qualified, the hydrological behavior of rivers. The advance in this representation is to influence by computational development and the availability of geoprocessing tools. This study analyze and compare drainage networks extracted from two Digital Elevation Models (DEM) of the river basin of rio Cuiá. One os the DEMs passed through a processor called stream burning, and both were compared with a drainage system reference previously prepared. The drainage network extracted from DEM burned was more real, because of its similarity to the reference network, and the discrepancy with the network extracted from other MDE was relevant, especially in the visual aspect.

Palavras-Chave – Modelo digital de elevação, *stream burning*, rede de drenagem.

1) Mestrando em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Fone: (83) 9654 48 19. E-mail: ahenriqueac@gmail.com

2) Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPB. Campus I, João Pessoa (PB). CEP 58059-900. Fone: (83) 3216 7355. E-mail: adrianorpaz@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A crescente utilização dos recursos hídricos nas últimas décadas tem provocado estudos acerca da representação, cada vez mais qualificada, do comportamento hidrológico de rios e de bacias hidrográficas. Os avanços nessa representação têm sido possível, em parte, devido as melhorias computacionais e as várias ferramentas de geoprocessamento disponíveis (Do *et al*, 2011; Paz, 2010).

A relação da hidrologia com o geoprocessamento é baseada, principalmente, no uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE). Os MDEs são representações numéricas da topografia, compostos por células que contêm informação de elevação. São subsídios fundamentais para as aplicações dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e estão inteiramente relacionados com a caracterização física de bacias hidrográficas e do sistema de drenagem, os quais constituem uma importante inicialização para os estudos hidrológicos (Paz e Collischonn, 2008).

Os MDEs têm sido largamente utilizados na modelagem hidrológica (Collischonn, 2011; Araujo e Silva, 2011), principalmente na delimitação automática de bacias e extração de redes de drenagem. Porém, seus problemas ao representar a topografia já são bem conhecidos, e erros nessa representação comprometem a qualidade dos dados primários e influenciam em parâmetros derivados desse produto (Callow *et al.*, 2007; Fisher, 1998).

A elaboração dos MDEs tem que ser desenvolvida com cuidado e avaliando as características específicas de cada situação. Vários estudos têm tido como objetivo avaliar e comparar a influência de diferentes métodos de interpolação na representação do terreno (Wise, 2007; Chaplot *et al*, 2006).

A partir do MDE, pode-se caracterizar a rede de drenagem. A caracterização é obtida ao determinar as direções de fluxo, as áreas acumuladas e, por fim, a extração da rede de drenagem. Essa caracterização permite que seja feita uma série de procedimentos, como a identificação da área de drenagem (Buarque, *et al.* 2008; Paz e Collischonn, 2008).

As direções de fluxo constituem o plano de informações básico derivado de um MDE em formato raster para suporte a estudos hidrológicos. O procedimento mais comum consiste em considerar uma única direção de fluxo para cada pixel do MDE, sendo essa direção atribuída para um de seus 8 vizinhos.

As áreas de drenagem acumuladas são determinadas com base exclusivamente nas direções de fluxo, onde cada pixel recebe o valor correspondente ao somatório das áreas de todos os pixels, cujo escoamento contribui para o pixel analisado.

A partir das direções de fluxo e da indicação da localização do exutório, determina-se a delimitação da bacia hidrográfica contribuinte ao referido exutório. O procedimento é bastante

simples e consiste em, para cada pixel da imagem, percorrer o caminho de fluxo até sair da imagem ou até encontrar o pixel que representa o exutório da bacia (Jenson e Domingue, 1988).

Em alguns casos, o MDE pode não representar a topografia do terreno de forma suficiente a permitir a derivação do traçado da rede de drenagem seguindo o traçado real. Um procedimento para contornar isso consiste na aplicação de métodos de adequação do MDE. Dentre esses métodos, destaca-se o *stream burning* (Hutchinson, 1989), o qual consiste em transformar uma rede de drenagem vetorial disponível em formato raster, e aplicá-la ao MDE em estudo, modificando os valores de elevação do modelo (Callow *et al.*, 2007; Kenny e Matthews, 2005). O emprego do procedimento de *stream burning* pode fazer com a rede de drenagem extraída se aproxime mais da drenagem real, sendo ainda, um procedimento simples, de eficiência computacional e que modifica poucas células no modelo.

Nesta perspectiva, este artigo analisa e compara as redes de drenagem extraídas de dois MDEs, sendo um deles modificado com o processamento do *stream burning*, referente a bacia hidrográfica do Rio Cuiá, em João Pessoa, Paraíba.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Cuiá está localizada na Mesorregião do Litoral Paraibano e na Microrregião de João Pessoa, no Município de João Pessoa, na parte sul do litoral Paraibano, entre as coordenadas (UTM) de 9.210.000 mN / 302.000 mE e 9200.00 mN / 292.000 Me. A bacia possui uma área de aproximadamente 40 km², com valores altimétricos que variam de 0 até 60 m, e tem como principal curso d'água, o rio Cuiá com comprimento de aproximadamente 10 km (Figura 1).

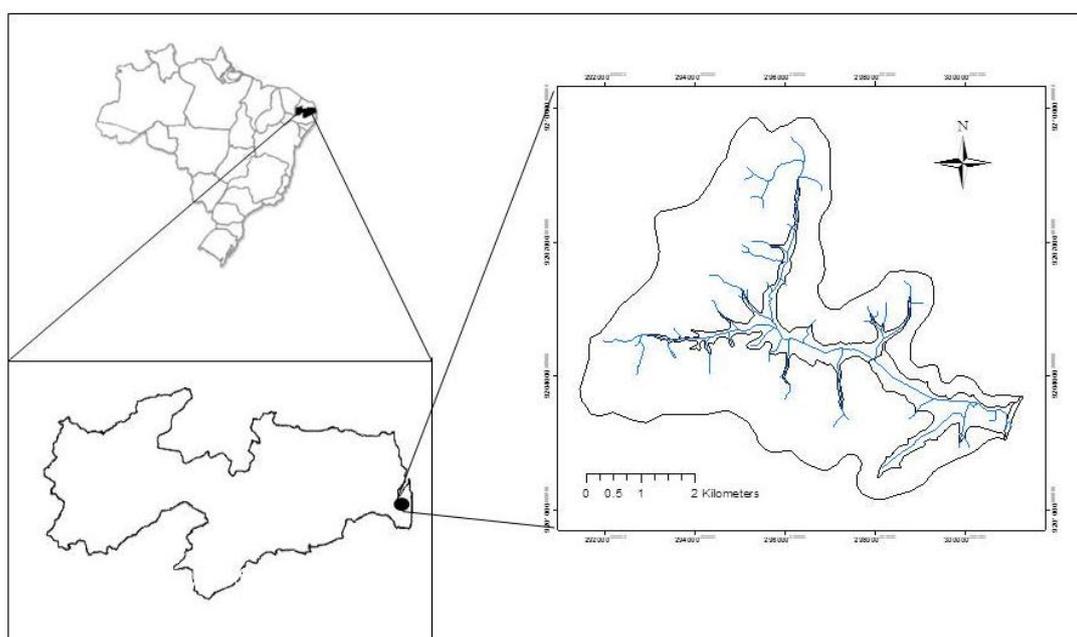


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do rio Cuiá.

A bacia do rio Cuiá tem se tornado foco de estudo nos últimos anos (Reis, 2010; Silva, 2007), devido a crescente urbanização e conseqüentes alterações no meio ambiente, e faz parte de um estudo, em nível de Mestrado, a respeito da previsão de cenários de inundações na região, ao qual este artigo está vinculado.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada ao trabalho consistiu, basicamente, em três etapas: a elaboração do MDE; a caracterização da rede de drenagem; e a análise e comparação dos resultados (Figura 2).

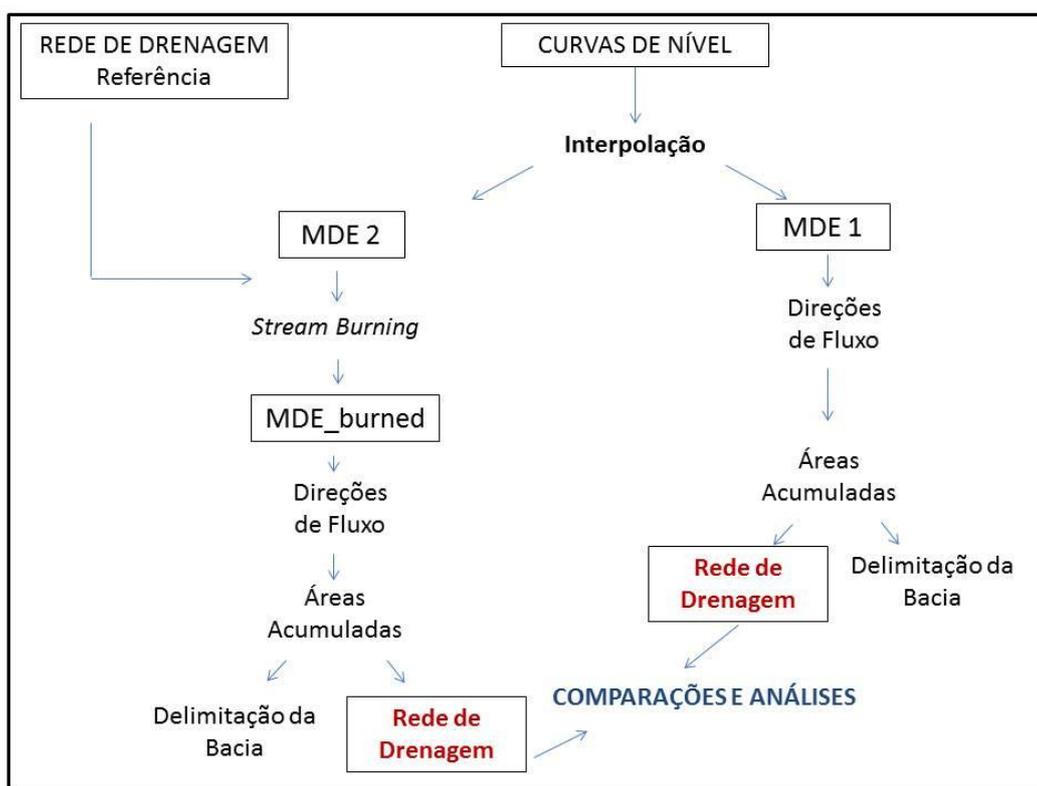


Figura 2 – Estrutura da metodologia do trabalho.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE 1 e 2) utilizados neste trabalho foram obtidos em função das curvas de nível de equidistância de 5 em 5 metros das cartas topográficas (folhas J-11, J-12, J-13, K-11, K-12, K-13, L-11, L-12, L-13) na escala de 1:10.000 do Instituto de Terras e Planejamento Agrícola do Estado da Paraíba (INTERPA). As curvas de nível foram interpoladas com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos digitais de elevação para estudos hidrológicos, utilizando-se da eficiência da interpolação local, sem perder a continuidade superficial dos métodos global de interpolação (Saito, 2011; Nogueira e Amaral, 2009) (Figura 3).

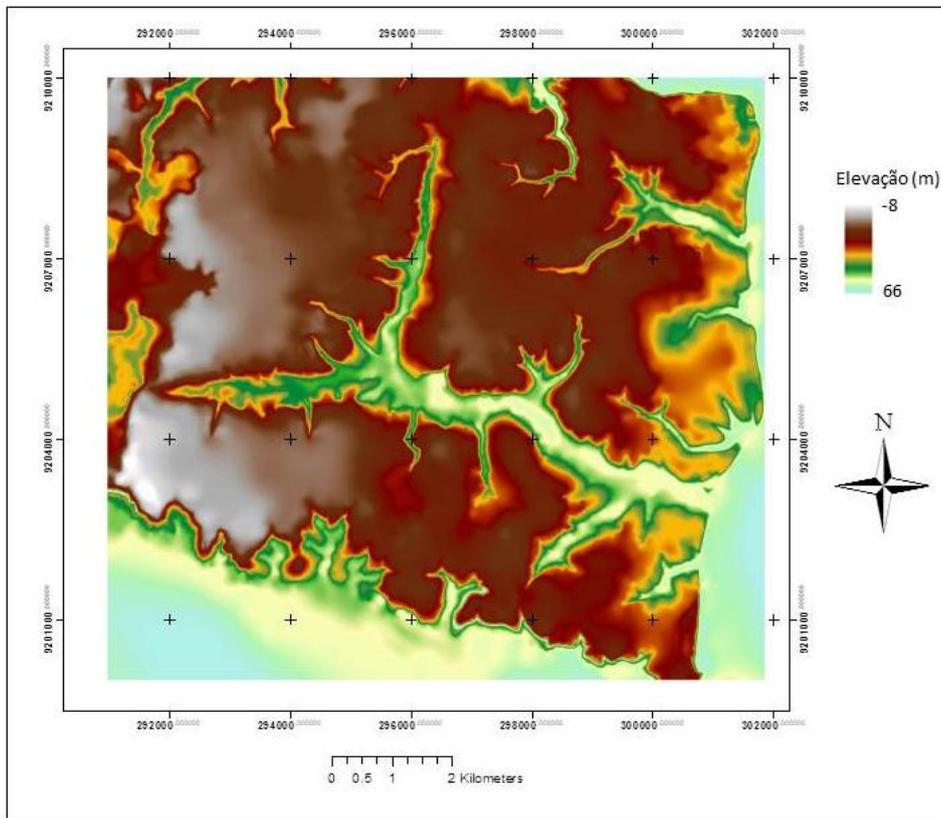


Figura 3 – Modelo Digital de Elevação da região em estudo, resultado da interpolação.

Para a análise da qualidade da drenagem extraída a partir dos MDEs, foi utilizada como base de comparação a rede de drenagem (rede de referencia) elaborada por Silva (2007), por meio da digitalização das cartas planialtimétricas do INTERPA, com equidistância entre as curvas de nível também de 5 em 5 metros (Figura 4).

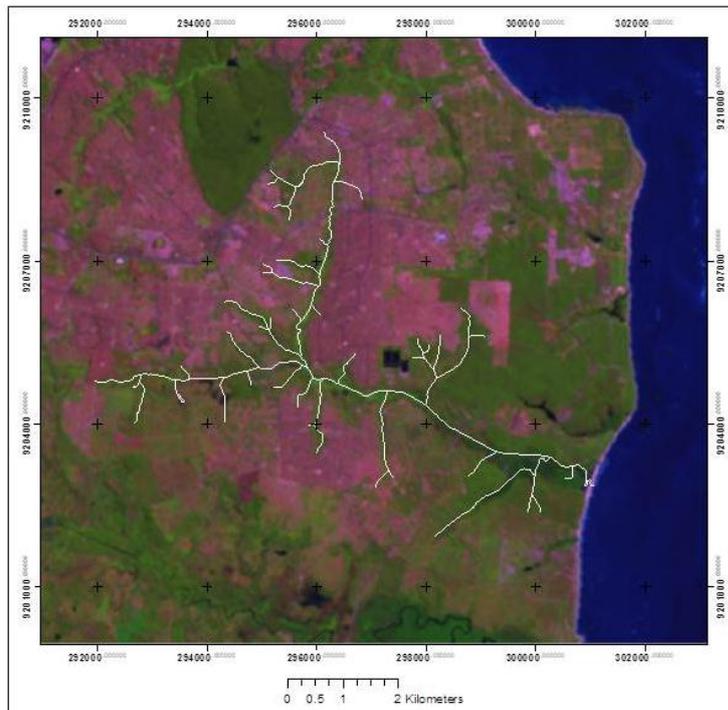


Figura 4 – Rede de drenagem principal das cartas planialtimétricas sobre a composição colorida RGB da imagem TM/Landsat 5.

Em um dos MDEs (MDE 2), o pré-processamento, *stream burning*, foi aplicado com o objetivo de melhorar as condições de direções de fluxo, gerando um novo MDE (MDE_burned). Esse processo consiste em reduzir os valores de elevação por meio de uma aplicação da rede vetorial pré-existente (rede de drenagem referencia) no MDE com valor determinado (100 m) (Figura 5).

Por meio de técnicas de geoprocessamento, a caracterização da rede de drenagem é realizada por meio dos modelos de elevação. A determinação das direções de fluxo foi realizada nos dois MDEs (MDE 1 e no agora MDE_burned) ao se considerar que cada pixel drena para um de seus oito vizinhos, considerando a regra da maior declividade, segundo a qual o escoamento de um pixel é atribuído na direção de um de seus vizinhos, conforme a maior diferença de elevação do terreno dividida pela distância entre o pixel em questão e seus vizinhos (Jenson e Domingue, 1988).

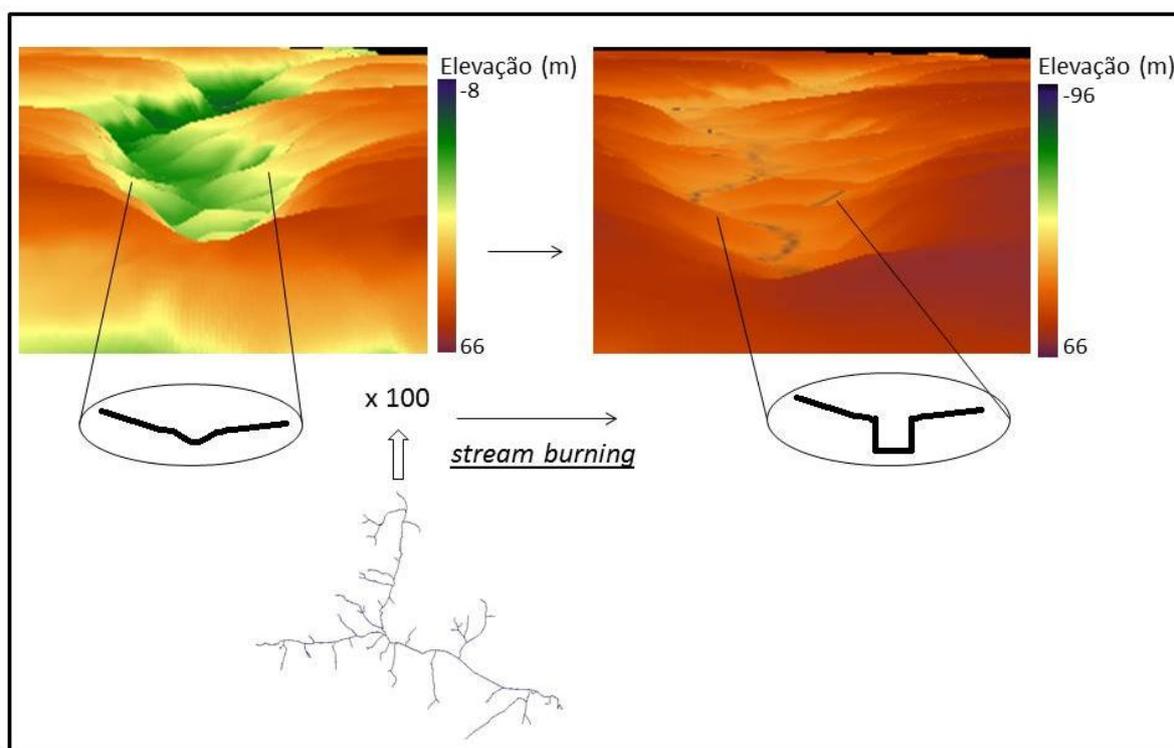


Figura 5 – Pré-processamento *stream burning* no MDE em estudo.

Com base nas direções de fluxo, as áreas de drenagem acumuladas são representadas, mas essas áreas não significam necessariamente que há um fluxo de água. Dessa forma, para gerar um plano de informação referente à rede de drenagem, necessita-se definir uma área mínima de contribuição para que haja a formação de um curso d'água. Para que as redes geradas tivessem uma densidade de drenagem equivalente à utilizada como referencia, várias tentativas foram realizadas para obter um resultado satisfatório, definindo assim, a área mínima de contribuição.

Ainda com base nas áreas de drenagem acumuladas, define-se o exutório da bacia, atribuindo o valor 1 para todos os pixels cujo caminho de fluxo traçado alcançou o exutório e o valor 0 para os demais pixels, caracterizando assim, os pixels contidos na bacia (1) ou fora (0).

Com as redes de drenagem extraídas, uma forma de compara-las é por meio do cálculo da sinuosidade e declividade do rio principal.

A sinuosidade é calculada considerando a relação entre comprimento do rio principal (L) com o comprimento do talvegue (Lt), dada por:

$$Sin = \left(\frac{L}{L_t} \right) \quad (1)$$

A declividade é calculada ao considerar o pixel da cabaceira do trecho (Zm) e o pixel do trecho de jusante (Zj) que recebeu sua contribuição, pelo comprimento do rio principal (L), dada pela equação:

$$S = \left(\frac{Z_m - Z_j}{L} \right) \quad (2)$$

RESULTADOS

As redes de drenagem dos MDEs que melhor apresentaram aspecto visual similar à rede de referencia foram as com área de contribuição mínima de 0,003 km² (Figura 6).

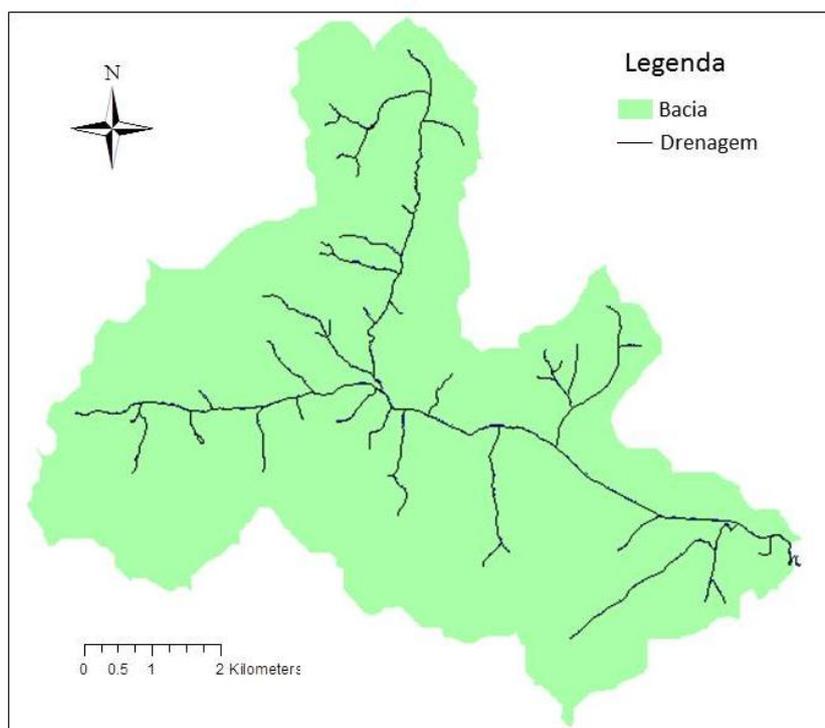


Figura 6 – Rede de drenagem extraída do MDE com área mínima de contribuição de 0.003 km².

Ao comparar as redes de drenagem geradas em função dos MDEs, com a rede digitalizada, verificamos que a rede com o processamento *stream burning* apresenta uma qualidade superior a outra gerada, conforme analisado três trechos diferentes (Figura 5, 6 e 7).

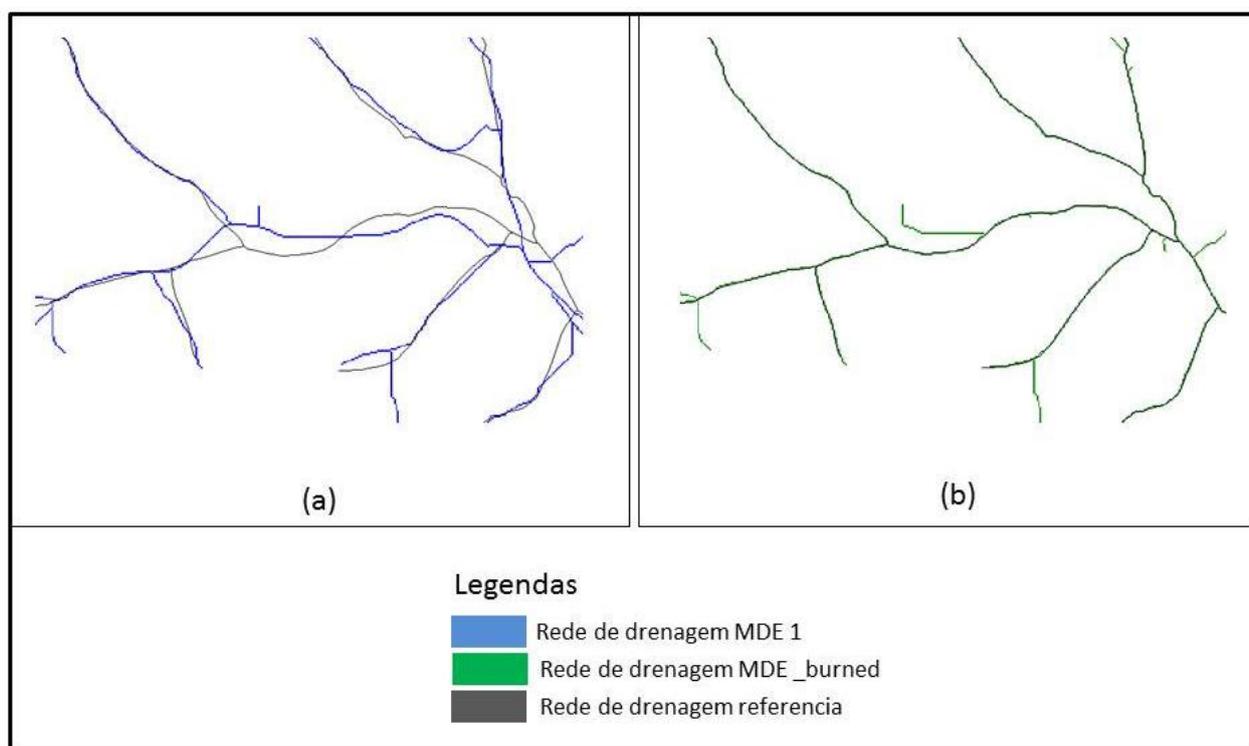


Figura 5 – Rede de drenagem referencia com a rede MDE 1 (a) e com rede MDE_burned (b).

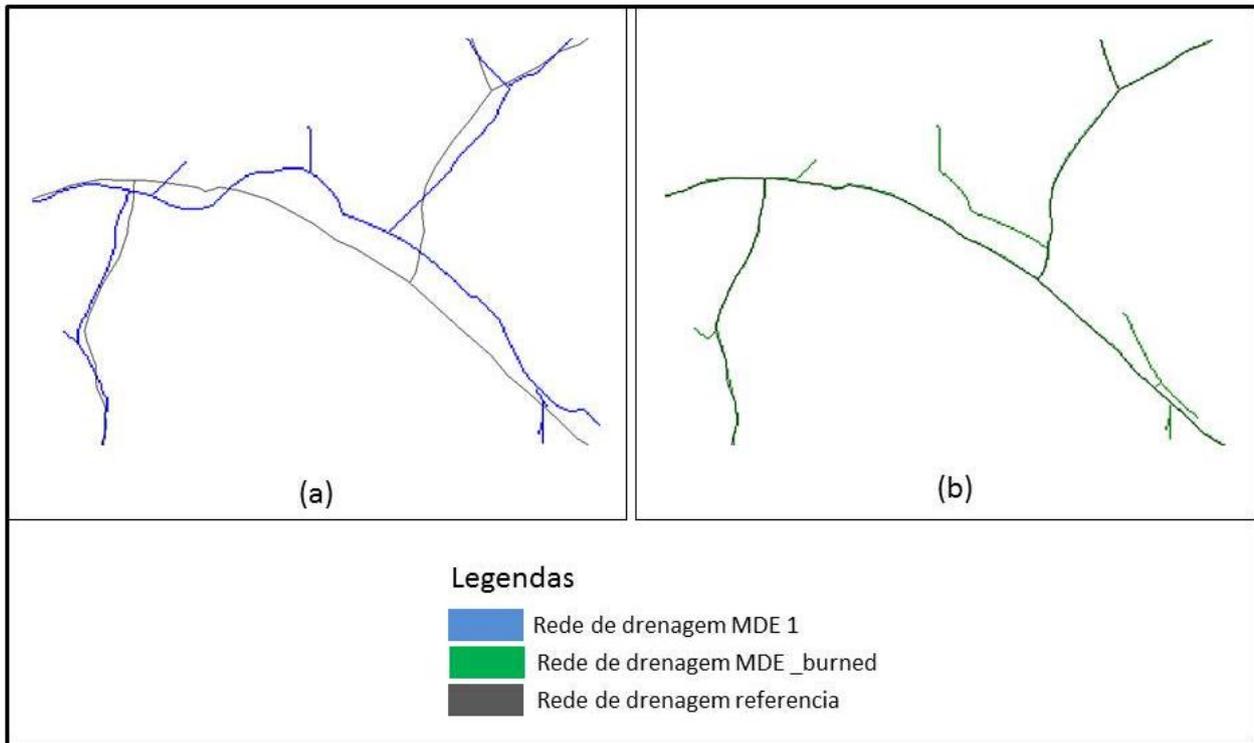


Figura 6 – Rede de drenagem referencia com a rede MDE 1 (a) e com rede MDE_burned (b).

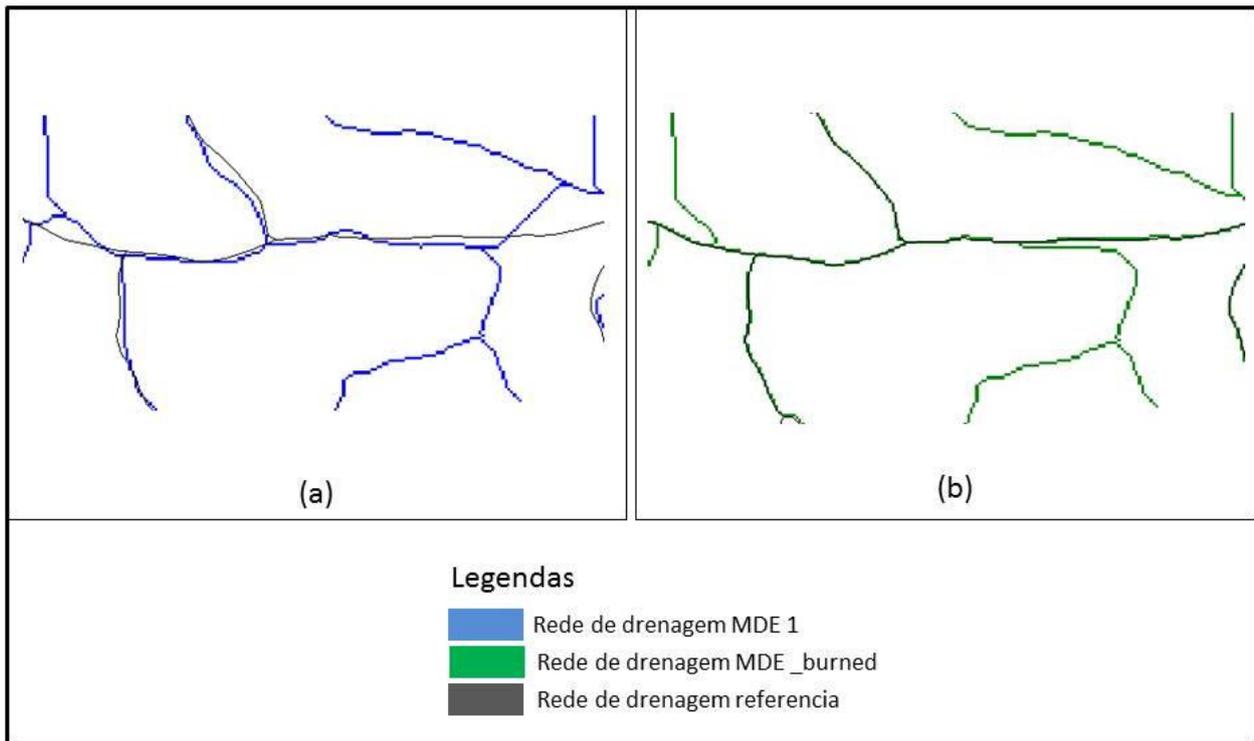


Figura 7 – Rede de drenagem referencia com a rede MDE 1 (a) e com rede MDE_burned (b).

Além da análise visual, pode ser feita também uma análise quantitativa, comparando a declividade, sinuosidade e comprimento do rio principal entre as redes de drenagem extraídas (Tabela 1).

Tabela 1- Os comprimentos, declividades e sinuosidades do rio principal extraídos dos MDEs.

MDE	Comprimento do rio principal (km)	Declividade do rio principal (m)	Sinuosidade do rio principal
Referência	10,12	-	1,10
1	10,70	0,003 m	1,15
Burned	10,06	0,002 m	1,10

Considerando o início do rio como área mínima de contribuição de 0,003 km², obteve-se um valor de comprimento de 10,06 km na drenagem derivada do MDE_burned, variando de 6% em relação ao MDE 1 e de apenas 0,59% para a rede referencia. A sinuosidade do rio principal também apresentou uma pequena variação, sendo igual entre a rede referencia e a rede burned, e de 5,54 % entre a rede burned e a rede 1.

CONCLUSÃO

Os Modelos Digitais de Elevação constituem uma excelente maneira de se representar condições ambientais. Conforme apresentado neste trabalho, por meio de técnicas de geoprocessamento, consegue-se extrair muitos atributos do MDE, com a rede de drenagem.

O pré-processamento *stream burning* mostrou ser um método de adequação válido, conseguindo gerar uma rede de drenagem mais parecida com a rede digitalizada quando comparada à rede com o MDE sem processamento. Tornando-se assim, um passo importante para reprodução de fenômenos hidrológicos. Neste trabalho, pôde-se observar pequenas, porém visualmente significativas, variações quantitativas entre os atributos comparados. Dependendo do caso, essas variações podem se tornar maiores ou menores e, portanto, merecem atenção.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento do Ensino Superior (CAPES), pela bolsa de Mestrado para o primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, A.M.; SILVA, A.B. (2011). “Modelagem de áreas de escoamento superficial a partir do Modelo Digital de Terreno” in Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Abril/Maio. 2011.

BUARQUE, D.C.; PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. (2008). “*Extração Automática de Parâmetros Físicos de Bacias Hidrográficas a Partir do MNT para Utilização em Modelos Hidrológicos*” in Anais II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Rio de Janeiro, Outubro. 2008.

CALLOW, J.N.; VAN NIEL, K.P.; BOGGS, G.S. (2007). “*How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis?*”. Journal of Hydrology 332, pp. 30-39.

CHAPLOT, V.; DARBOUX, F.; BOUREANNANE, H.; LEGUEDOIS, S.; SILVERA, N.; PHACHOMPHON, K. (2006). “*Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density*”. Geomorphology, 77, pp.126-141.

COLLISCHONN, B. (2011). “*Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí-RS*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 16 (4), pp. 119-133.

DO, H. T.; LIMET, S.; MELIN, E. (2011). “*Parallel Computing Flow Accumulation in Large Digital Elevation Models*” in International Conference on Computational Science, Procedia Computer Science 4, pp. 2277-2286.

FISHER, P. (1998). “*Improved Modeling of Elevation Error with Geostatistics*”. GeoInformatica 2:3, pp. 215-233.

HUTCHINSON, M.F. (1989). “*A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits*”. Journal of Hydrology 106, pp. 211-232.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. (1988).” *Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*”. Photogramm. Eng. Remote Sens. 54 (11), pp. 1593–1600.

KENNY, F.; MATTHEWS, B. (2005). “*A methodology for aligning raster flow direction data with photogrammetrically mapped hydrology*”. Computers & Geoscience 31, pp. 768-779.

NOGUEIRA, J.D.L.; AMARAL, R.F. (2009). “*Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN*” in Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Abril. 2009.

PAZ, A. R. (2010). “*Simulação Hidrológica de Rios com Grandes Planícies de Inundação*”. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. (2008). “*Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM*”. Revista Geográfica Acadêmica 2 (2), pp.84-95.

REIS, A. L. Q. (2010). “*Índice de Sustentabilidade Aplicado à Bacia do Rio Cuiá – João Pessoa*”. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SAITO, N. S. (2011). “*Análise da Exatidão de Diferentes Métodos de Interpolação para Geração de Modelos Digitais de Elevação e Obtenção de Características Morfométricas em Bacias Hidrográficas*”. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.

SILVA, L. P. (2007). “*Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas de risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

WISE, S.M. (2007). “*Effect of differing DEM creation methods on the results from a hydrological model*”. Computers & Geoscience 33, pp.1351-1365.